

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Отделение электроэнергетики и электротехники

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проект реконструкции системы освещения основных помещений детского сада в г. Тюмень

УДК 628.972:727.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Г	Каримов Ислам Абайулы		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭЭ ИШЭ	Ушаков В.Я	Д.Т.Н., профессор		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Подопригора И. В.	к. т. н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

## Планируемые результаты обучения по ООП «Электроэнергетика»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные компетенции</i>		
P1	<i>Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.</i>	Требования ФГОС (ОК-1, 3; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.</i>	Требования ФГОС (ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P3	<i>Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.</i>	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P4	<i>Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.</i>	Требования ФГОС (ОК-3; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности, связанной с автоматизированными системами диспетчерского управления в электроэнергетике.</i>	Требования ФГОС (ОПК-4; ПК-4-6) <sup>1</sup> , Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P6	<i>Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа при проектировании, эксплуатации и обслуживании автоматизированных систем диспетчерского управления электроэнергетических</i>	Требования ФГОС (ПК-1, 7,8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов

<sup>1</sup> Указаны коды компетенций по ФГОС (направление 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника), утвержденному Приказом Министерства образования и науки РФ № 1500 от 21.11.2014 г.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	систем с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.	<i>EUR-ACE и FEANI, работодателей</i>
P7	Выполнять инновационные <i>инженерные проекты</i> по разработке аппаратных и программных средств автоматизированных систем диспетчерского управления электроэнергетических систем с использованием современных методов проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных систем.	Требования ФГОС (ПК-2, 9, 10, 11). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области автоматизированных систем управления электроэнергетических систем, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; осуществлять профессиональную деятельность руководствуясь требованиями стандартов и рынка; разрабатывать планы и программы организации профессиональной деятельности на предприятии; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-20, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные</i> , наладочные работы оборудования и программного обеспечения по профилю профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-22, 23, 25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>
P11	<i>Осваивать новое оборудование и программное обеспечение в сфере автоматизации диспетчерского управления</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс эксплуатируемых программно-технических комплексов и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>
P12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики  
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_  
В.В. Шестакова  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Г	Каримову Исламу Абайулы

Тема работы:

Проект реконструкции системы освещения основных помещений детского сада в г. Тюмень	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10.02.2020 г № 41-35/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2020 г.
--	---------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Объект исследования: система освещения детского дошкольного учреждения,</i></p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><i>Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки по вопросам: энергосбережения в освещении; современной светотехники; полым трубчатым световодам; гибридным светильникам.</i></p> <p><i>Основной задачей проекта является проектирование системы совмещенного освещения на базе гибридных осветительных систем и светодиодных светильников. Проект также должен отвечать требованиям ресурсосбережения и качества освещения.</i></p> <p><i>В процессе выполнения проекта разработана система совмещенного освещения основных помещений на основе гибридных и светодиодных светильников. Новая система освещения соответствует всем требованиям к освещению в детских садах и потребляет меньше электроэнергии.</i></p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><i>Модели в программе DIALux</i></p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>к.т.н., доцент ОСГН Подопригора И. В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Ассистент ООД Мезенцева И.Л.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: нет</b></p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>17.02.2020 г.</p>
--	----------------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
------------------	------------	-------------------------------	----------------	-------------

Профессор ОЭЭ ИШЭ	Ушаков В.Я.	д.т.н., профессор		17.02.2020 г.
-------------------	-------------	----------------------	--	------------------

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Г	Каримов И.А.		17.02.2020 г.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Г	Каримову Исламу Абайұлы

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определить: - капитальные затраты на покупку и установку светильников - ежегодные затраты на электроэнергию, потребляемую светильниками
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Не используется
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Не используется

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка научно- технического уровня проекта.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Не разрабатывается
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение экономической эффективности

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	17.02.2020 г.
--	---------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Подопригора И. В.	к. т. н., доцент		17.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Г	Каримов И. А.		17.02.2020

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Г	Каримову Исламу Абайулы

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Электроэнергетики и электротехники
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Проект реконструкции системы освещения основных помещений детского сада в г. Тюмень	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	- Детское дошкольное учреждение, с учетом внедрения гибридных осветительных комплексов
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>— специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>— организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003;</li> <li>- ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;</li> <li>- ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017</li> <li>- ГОСТ 12.1.038—82 ССБТ. Электробезопасность.</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Превышение уровня шума;</li> <li>– Отклонение показателей микроклимата;</li> <li>– Запыленность рабочей зоны;</li> <li>– Опасность поражения электрическим током.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– Анализ воздействия объекта ВКР на ОС.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Возможные ЧС: пожар;</li> <li>- Наиболее вероятный вид ЧС- техногенный(пожар) вследствие короткого замыкания</li> </ul>



Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	17.02.2020 г.
--	---------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			17.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Г	Каримов И. А.		17.02.2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Уровень образования бакалавриат  
 Отделение электроэнергетики и электротехники  
 Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2020 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
17.05.2020	Расчет основной части ВКР	50
25.05.2020	Финансовый менеджмент	25
02.06.2020	Социальная ответственность	25
05.06.2020	Пояснительная записка	100

#### СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭЭ ИШЭ	Ушаков В.Я.	д.т.н., профессор		17.02.2020 г.

#### СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		17.02.2020 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 71с., 24 рис., 8 табл., и 28 источников.

Ключевые слова: гибридный светильник, энергосбережение, система совмещенного освещения, полые трубчатые световоды, гибридный осветительный комплекс.

Объектом исследования является система освещения детского дошкольного сада.

Цель работы - разработка проекта реконструкции системы освещения основных помещений детского дошкольного учреждения в городе Тюмень.

В процессе исследования проводились компьютерные моделирования системы освещения детского сада, технико- экономические обоснования реконструкции.

В результате исследования разработан проект, который по технико- экономическим показателям превосходит базовую систему освещения.

Основные конструктивные, технологические и технико- эксплуатационные характеристики: спроектированная система освещения имеет отличные свето- технические характеристики и низкое электропотребление.

Степень внедрения: разработка и защита проекта

Область применения: детское дошкольное учреждение в городе Тюмень.

Экономическая эффективность/значимость работы – Потребление электроэнергии системой совмещенного освещения на основе гибридных и светодиодных светильников в 7 раз меньше чем базовый вариант освещения садика.

## Оглавление

Введение .....	14
Цель и задачи.....	15
Глава 1. Обзор литературы .....	16
1.1. Энергосбережение в освещении .....	16
1.2. Естественный свет и здоровье .....	18
1.3. Полые трубчатые световоды.....	20
1.3.1. История полых световодов .....	20
1.3.2. Современные полые трубчатые световоды.....	25
1.3.3. Конструкция ПТС.....	26
1.3.4. Сильные и слабые стороны ПТС .....	28
1.4. Гибридный осветительный комплекс (ГОК) .....	29
1.4.1. Монтаж и конструкция ГОК.....	30
1.5. Светодиоды.....	32
1.5.1. Неясность отношения Российской Федерации к СД.....	34
Глава 2. Разработка системы освещения детского дошкольного учреждения.....	37
2.1. Исходные данные .....	37
2.2. Моделирование помещения и системы освещения .....	39
2.3. Выводы по разделу .....	47
Глава 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	48
3.1. Описание проекта .....	48
3.2. Сравнение стоимости систем освещения .....	49
3.3. Расчет годовых эксплуатационных издержек по содержанию систем освещения .....	50
3.4. Расчет электропотребления и экономической эффективности систем освещения .....	50
3.5. Выводы по разделу .....	53
Глава 4. Социальная ответственность.....	54
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	54
4.1.1. Правовые нормы трудового законодательства .....	55
4.1.2. Организационные мероприятия.....	55
4.2. Производственная безопасность .....	57

4.3. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды .....	58
4.3.1. Отсутствие или недостаток освещения .....	58
4.3.2. Превышение уровня шума .....	59
4.3.3. Отклонение показателей микроклимата .....	60
4.3.4. Поражение электрическим током .....	62
4.4. Экологическая безопасность .....	63
4.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	64
4.6. Выводы по разделу .....	67
Заключение .....	68
Список литературы .....	69

## **Введение**

Рост дефицита органических энергоносителей, повышение тарифов на электроэнергию, загрязнение окружающей среды, вызванное выбросами продуктов сгорания тепловых станции, заставили переосмыслить роль естественного света в качестве энергетического ресурса. Эффективное использование солнечного света для освещения является важнейшим фактором энерго- и ресурсосбережения.

Электрическая нагрузка, в виде системы искусственного освещения, одна из самых крупных потребителей электроэнергии в мире. На освещение человечеству приходится тратить 19% электроэнергии от всей генерируемой, а в России этот показатель достигает 14%. От потребляемой освещением энергии только 18 % приходится на уличное, все остальное тратится на внутреннее освещение [1,2]. Для достижения ощутимых результатов в снижении потребления энергии нужен комплексный подход [3]. Благодаря прогрессу современной науки и технологии можно создавать светопроемы с хорошими тепловыми и световыми показателями. К таким светопроемам нового поколения относятся полые трубчатые световоды (ПТС) и системы совмещенного освещения (ССО), выполненные на них.

ПТС с интегрированными в них источниками искусственного освещения на светодиодах (СД) и системами автоматического регулирования – самый энергоэффективный вид ССО. Данная технология называется гибридным осветительным комплексом (ГОК), и на нем будет основан проект реконструкции системы освещения детского сада в городе Тюмень.

## **Цель и задачи**

Цель работы: разработка проекта реконструкции системы освещения основных помещений 3 этажа детского дошкольного учреждения в городе Тюмени.

Задачи:

1. Проанализировать литературу про ССО, ГОК, ПТС, энергосбережение и источники искусственного света - СД;
2. Проанализировать базовую систему освещения детского сада, выполненную на светильниках с ЛЛ;
3. Построить модель детского садика в программном комплексе DIALux 4.13;
4. Спроектировать систему освещения, выполненную на ГОК;
5. Сравнить полученную ССО с базовым вариантом, привести технико- экономическое обоснование.

## **Глава 1. Обзор литературы**

### **1.1. Энергосбережение в освещении**

В условиях мирового энергетического кризиса массовое внедрение энерго-эффективного освещения- задача глобального масштаба, достижение которой значительно снизит потребление ЭЭ и выбросы вредных веществ (диоксидов углерода и серы, ртути). Известно, что при генерации на ТЭС 1 кВт\*ч энергии в атмосферу выбрасывается 1 кг диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) [1].

Доказательством заинтересованности человечества в понижении содержания углекислого газа в атмосфере служит Киотский протокол об ограничении выбросов парникового газа [4]. Европарламентом также были приняты меры снижения потребления ЭЭ, 10-12 директив («Экологическое проектирование потребляющих энергию изделий», «Энергоэффективность зданий» и т.д.) Самой масштабной стала программа «Green Light» США, направленная на уменьшение затрат ЭЭ на освещение в 1,2-1,5 раз. На базе этой программы были созданы планы дальнейшего развития энергосбережения Китая, Южной Кореи, Бразилии, Таиланда, Мексики, Чехии. Международное энергетическое агентство (МЭА) разработала стратегию «экономии энергии в зданиях и системах общественного пользования», которая направлена на практическое внедрение энергосберегающих технологий. РФ в 2009 году приняла закон №261-ФЗ «Об энергосбережении и внесении изменений в отдельные законодательные акты...» [1,5,6].

Освещение представляет собой крупный и резкорастущий источник спроса ЭЭ. В 2005 году только на освещение было затрачено 2650 ТВт\*ч электричества, в России ОУ потребляют 135 млрд кВт\*ч в год. Из них около 28% потребляет жилые помещения, 48% - секторы обслуживания и услуг, 16% - промышленный предприятия и 8% - уличное и наружное освещение [1]. То есть на более чем 90% сеть освещения нагружает внутренние ОП. Следует отметить, что потенциал энергоэффективности искусственного освещения не раскрыт даже на половину от достижимого уровня. Доля изобретенных еще в



19 веке ламп накаливания, световая отдача которых самая низкая (12- 15%) на сегодняшний день по сравнению со всеми остальными источниками света, на рынке составляет около 80% [3].

Энергосбережение в РФ идет не по плану, за прошедшие 10 лет энергоемкость ВВП снизилось всего лишь на 9%, а в промежутке с 2016 по 2019 энергоемкость ВВП вообще не снизилась [19]. Исходя из этого, проекты по реконструкции систем освещения с применением энергоэффективных ОУ и задействованием как можно больше естественного света очень актуальны.

Методами понижения энергоемкости сетей освещения, сохраняя при этом характеристики световой среды помещения на высоком уровне, являются: переход на инновационные технологии искусственного освещения; рациональное использование естественного света; внедрение систем совмещенного освещения (ССО) комбинирующих естественный и искусственный свет.

Эффективность осветительных устройств (ОУ) характеризуется следующими пунктами [7]:

- световая отдача источника света и его долговечность;
- светотехнических и энергетических параметров осветительных приборов (ОП);
- стабильности на протяжении эксплуатации параметров светильников и, в частности, характеристик источников света (ИС) при работе в светильниках;
- тарифов на ЭЭ;
- числа часов использования ОУ в год.
- стоимость ламп и светильников, а также стоимость монтажа и обслуживания.

По вышеперечисленным критериям наиболее эффективными решениями понижения энергоемкости систем освещения являются ГОК на основе ПТС. К единственному недостатком ГОК можно отнести его стоимость.

Недопустимо ухудшение среднего значения освещенности, равномерности освещения или каких-либо других параметров, отключением части ОП или отказом на включение искусственного света при нехватке естественного освещения в угоду экономии электроэнергии. Потери от несоблюдения норм освещенности почти всегда превосходят стоимость сэкономленной энергии [3].

## **1.2. Естественный свет и здоровье**

Естественный свет - свет солнца и небосвода, из-за генетической предрасположенности человека к непрерывному спектру излучения солнечного света, считается наиболее благоприятным для зрения и здоровья. Хотя и современные газоразрядные лампы излучают свет близкий по спектру к естественному и создают среду с высоким уровнем освещенности, состояние людей, выполняющих как умственную, так и зрительную работу при искусственном освещении хуже, чем при естественном [11].

С естественным светом связаны общие ощущения бодрости, трудоспособности, жизнестойкости и «подъема духа», которые основополагают психическое и психологическое благополучие. Об этом свидетельствуют различные исследования отечественных и зарубежных ученых. Отмечаются ухудшение самочувствия, снижение работоспособности, повышение утомления, нарастающая раздражительность, частые головные боли [8,9].

Результаты, полученные при поступлении на рабочие места естественного света, во всех экспериментах были неизменно лучшими, чем при искусственном освещении той же интенсивности. Наибольшее утомление имеет место при условиях искусственного освещения, наименьшее - при полностью естественном. Разница по показателям динамики зрительных функций, функций центральной и вегетативной нервной системы достигает 20—30% [3,10].

Характер изменения степени утомления людей от зрительной работы при постоянной освещенности 500 лк с разными пропорциями искусственного

и естественного света по физиологическим и психологическим показателям представлен на рисунке 1.

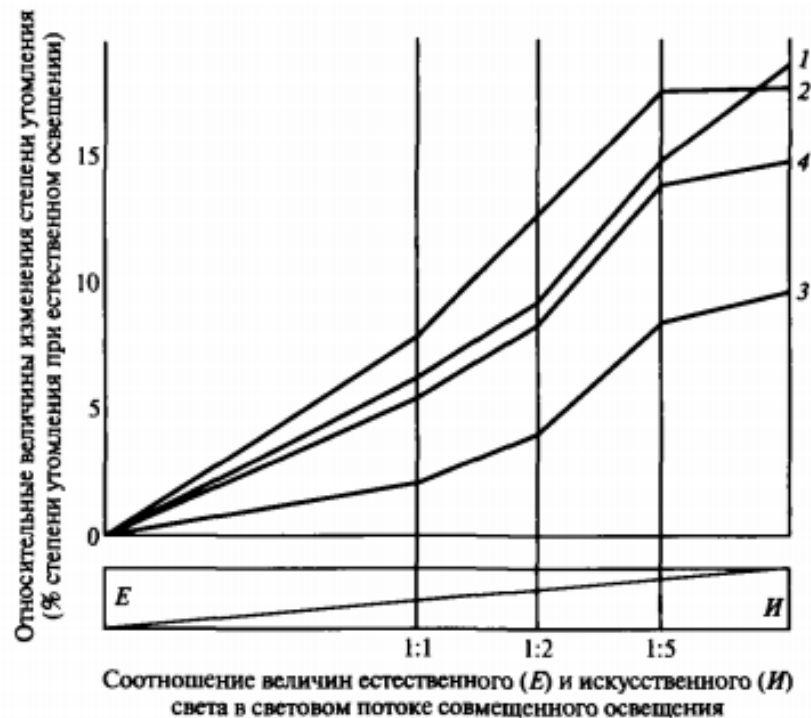


Рисунок 1 – Характеристика степени утомления при зрительной работе в помещении с постоянной освещенностью 500 лк: 1 — утомленность нервной системы; 2 — утомленность зрения; 3 — утомленность психологического состояния; 4 — среднее значение утомленности [11]

Опираясь на известные наблюдения и факты можно сделать вывод о важности грамотного и рационального проектирования системы естественного освещения не только для энергосбережения, но и для здоровья.

Существует множество видов осветительных систем солнечного света в помещении: окна, стеклянные крыши, зенитные фонари и полые световоды. Традиционные светопроемы позволяют снизить потребление ЭЭ освещением в светлый период суток. Также, освещение, создаваемое ими по характеристикам намного лучше, чем искусственное. Минусом окон, стеклянных крыш и зенитных фонарей является неравномерное освещение и большие теплопотери и теплопритоки. Внедрение полых световодов является отличным инженерным решением для создания равномерного естественного освещения [14].

### **1.3. Полые трубчатые световоды**

Известно, что почти все биологические процессы организма человека зависят от наличия и качества естественного освещения, непосредственно отражаясь на его психофизическом состоянии. В настоящее время в связи с развитием строительной отрасли возникают проблема с поступлением естественного света традиционным путем с помощью окон, зенитных фонарей и т.д., что и способствовало направлению интересов архитекторов к разработке эффективных и энергосберегающих систем освещения с эффективной эксплуатацией естественного света. Идеальным решением проблемы стало проведение света через специальные полые трубчатые световоды.

#### **1.3.1. История полых световодов**

История полых световодов имеет столетние корни, ключевыми годами которого можно выделить:

- 1874 г. – для освещения взрывоопасных помещений Охтинского порохового завода в Санкт-Петербурге изобретателем В.Н. Чиколевым были использованы зеркализированные изнутри полые торцевые световоды. Источником света являлась электрическая дуга, установленная на специальной башне вне завода (рисунок 2);

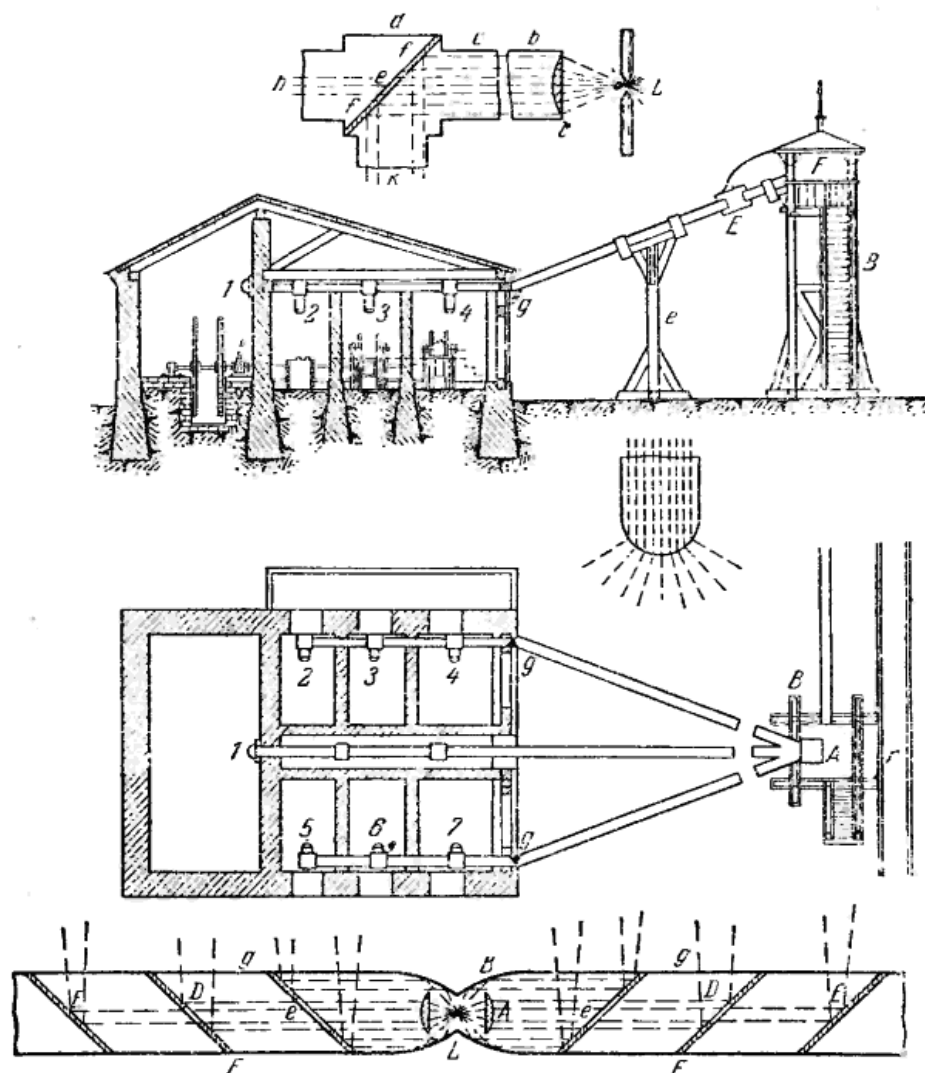


Рисунок 2 – Установка В.Н. Чиколева [2]

- 1878 г. – В.Р. Лэйк и М.Т. Нил из США запатентовали свои устройства. В.Р. Устройство Лэйка создавало параллельные пучки света от мощного источника с оптикой и предназначалось для освещения подземных туннелей и шахт. Оно абсолютно взрыво – и пожаробезопасно. Нил осуществил деление, транспортировку и перераспределение света с помощью линз, зеркал и светрассеивателей;

- 1879 г. – публикуется статья про устройство освещения многоуровневого здания, состоящего из мощного источника света (дуги), линз Френеля и световодных труб (рисунок 3). Изобретение было описано в калифорнийском научном журнале Кебрианом и Молером;

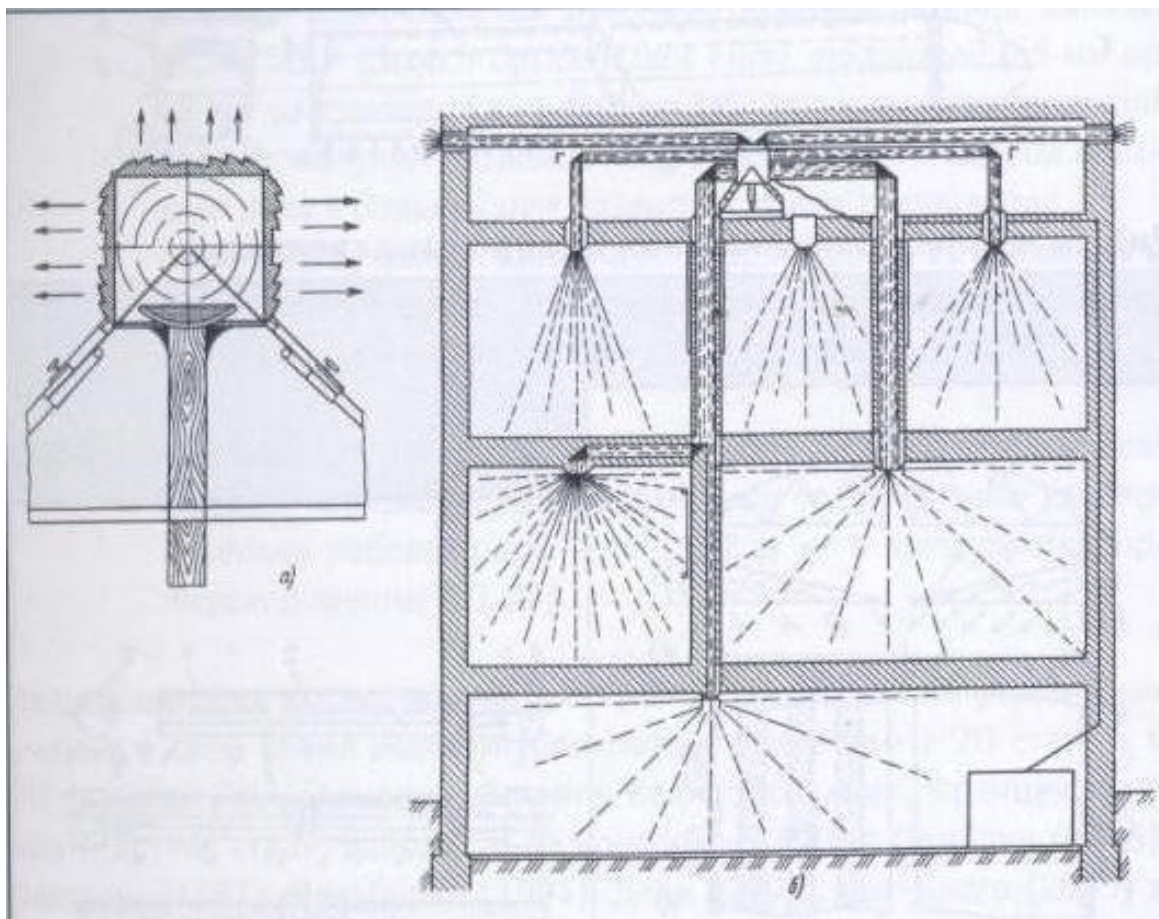


Рисунок 3 – Устройство Кебриана и Молера [2]

- 1881 г. – используя эллиптические и сферические зеркала, призмы, конденсорные линзы и светорассеиватели В. Виллер создал комбинированное устройство, которое очень эффективно распоряжалось световым потоком;
- 1965 г. – советский ученый Г.Б. Бухман нашел новый метод применения световодов, используя их как для транспортировки, так и для освещения помещения всей его длиной. В один конец зеркализированной изнутри трубы щелевого световода подавался свет от мощного источника, а выводился через не обернутые отражающим слоем боковые поверхности (оптические щели) в освещаемое пространство (рисунок 4);

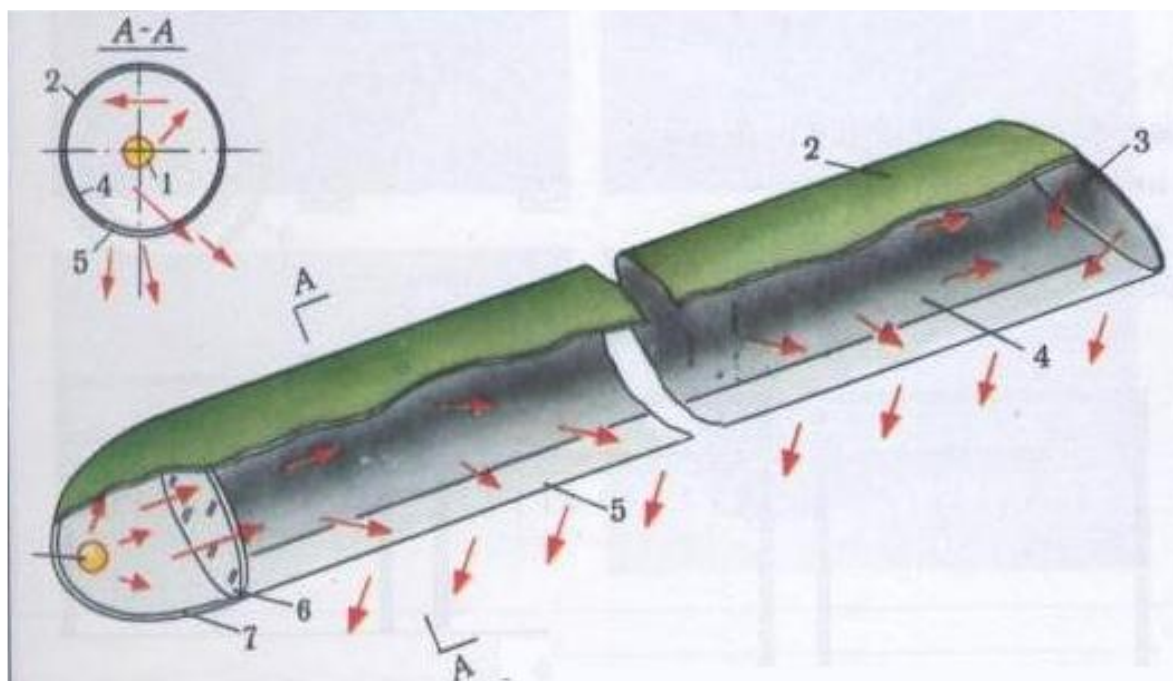


Рисунок 4 – Световод Г.Б. Бухмана [2]

- 1975 г. – Г.Б. Бухман и Ю.Б. Айзенберг стали основоположниками систем комбинированного освещения. Приборы, запатентованные ими, позволяли транспортировать естественный и искусственный свет и изготавливались из стойкой пластмассы (рисунок 5);

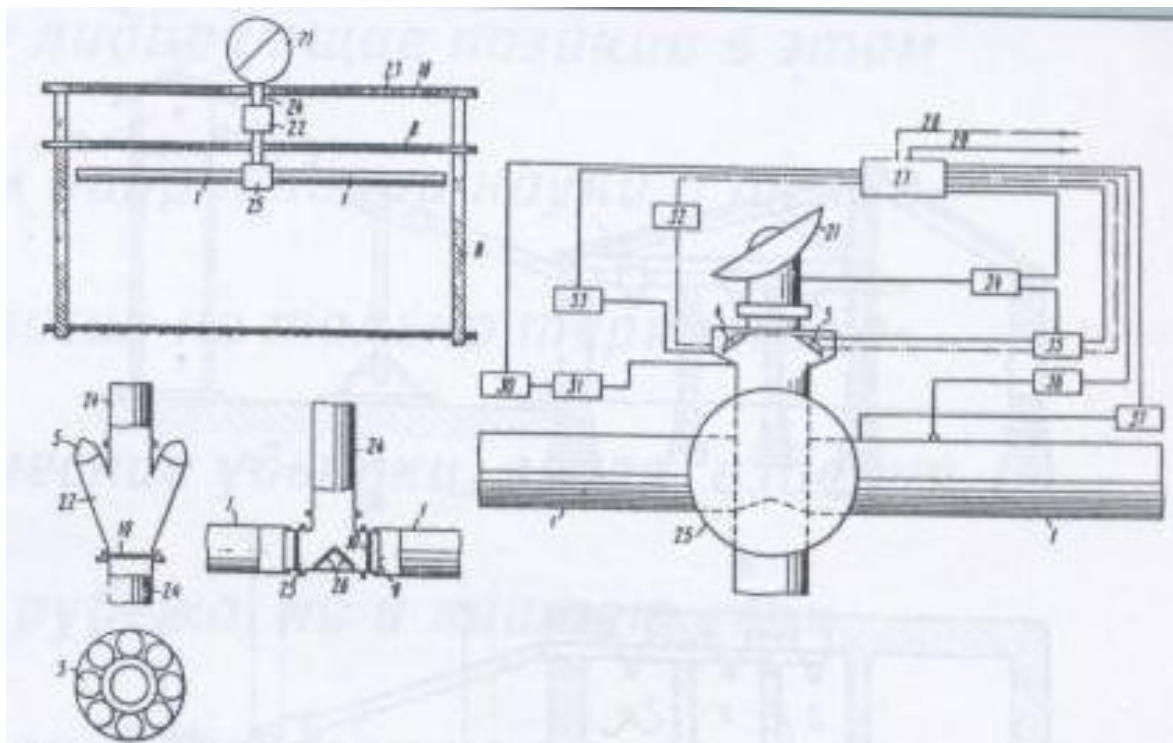


Рисунок 5 – Полый световод Г.Б. Бухмана и Ю.Б. Айзенберга [2]



- 1978 г. – ученые из СССР Г.Б. Бухман, Ю.Б. Айзенберг и В.М. Пятигорский предлагают, патентуют и реализуют на практике новые конструкции световодов, позволяющие получать объемные светящиеся поверхности (рисунок 6);

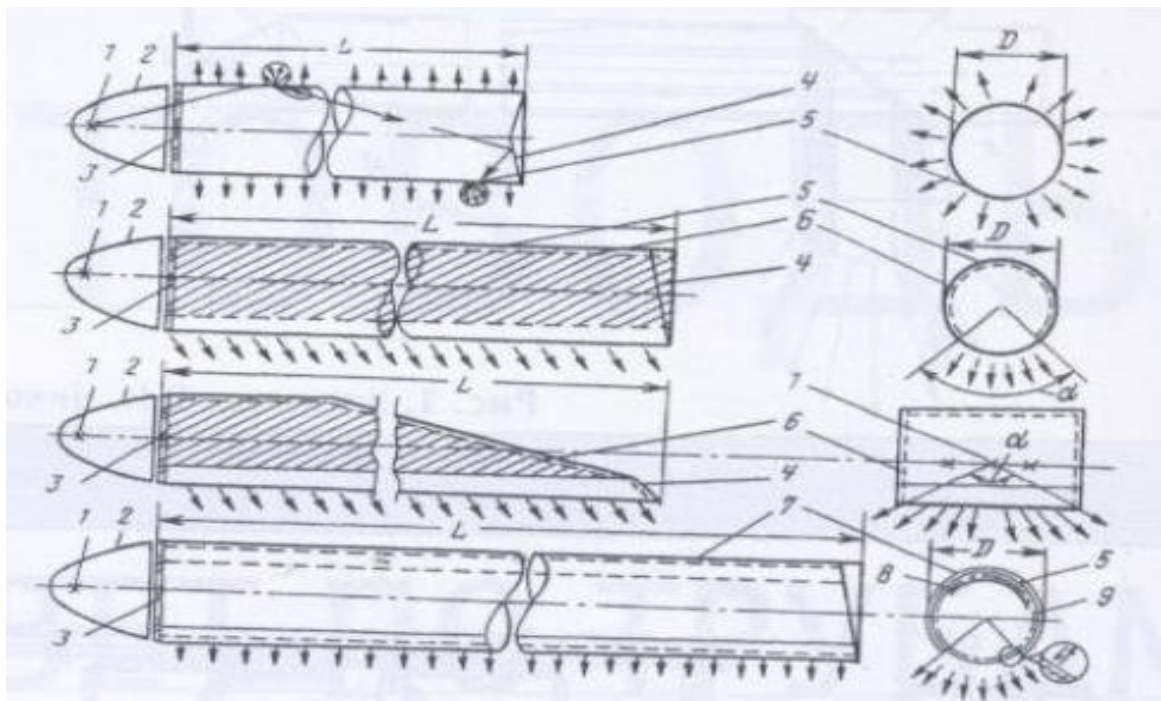


Рисунок 6 – Принципиальные группы полых световодов [2]

- 1980 г. – Тернопольским производством «Ватра» (Украина) и Московским светотехническим заводом начинается серийный выпуск устройств освещения на основе полых световодов. В этом же году были созданы и производились полиэтилентерефталатные пленки, световые источники с аппаратурой пускорегулирования, фотометрические приборы и специальные станки для массового производства световодов;

- 1981 г. – в Канаде появляется высокоэффективный световод, который транспортирует свет по световоду практически без потерь и имеет высокий показатель светимости, за счет эффекта полного внутреннего отражения света призмами (рис.8). Автором конструкций является Л. Уайтхед из Британской Колумбии;



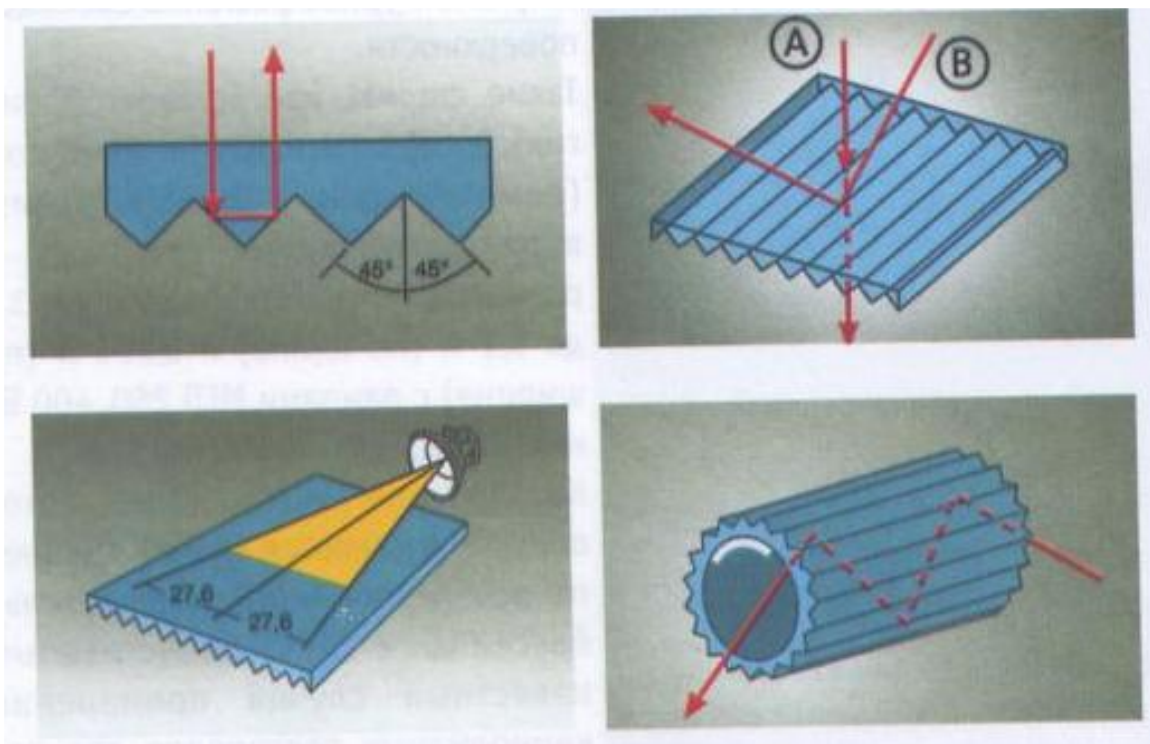


Рисунок 7 – Призматические световоды [2]

- 1985 г. – С. Кобб и Р. Аппельдор совместно с предприятием 3М создали технологию производства призматической рулонной пленки модели SOLF (0,5 толщина). Технологический процесс был назван микрорепликацией и внес большой вклад в будущее развитие трубчатых световодов. После, Р. Нодвел и Л. Уайтхед основали фирму TIR Systems и начали серийное производство полых призматических световодов;
- 1994 г. – организуется Технический Комитет ТК 3.30 «Полые световоды».

### 1.3.2. Современные полые трубчатые световоды

Актуальность ПТС возрастает с каждым днем, тенденции архитектуры и градостроительства способствуют этому. Растет количество подземных помещений и объектов большой площади, в которых не предусматриваются эффективные решения по естественному освещению. В виду того, что типовые (окна, прозрачная кровля, зенитные фонари) решения приводят к нарушению оптимального энергобаланса и энергосбережения помещений, их использование не является оптимальным решением. В Россия для устранения этих проблем существуют различные опции ПТС различных производителей.

Дилеры ПТС со стороны США- Solatube International Inc (ОС Solatube Daylighting Systems), Solarspot International S.r.l. (ОС Solarspot) от Италии и компания Чехии Lightway (ОС ALLUX). Возможное перспективное развитие строительной отрасли, которая влияет на энергоэффективность, главным образом опирается на государственный закон № 261-ФЗ утвержденный в ноябре 2009 года, как раз-таки «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

### 1.3.3. Конструкция ПТС

Рассмотрим главные основные части конструкции ПТС на примере Solatube M74, описывая конструкцию сверху вниз относительно ее вертикального расположения (рисунок 8):



Рисунок 8 – Декомпозиция ПТС Solatube M74 [5]

- На самом верху располагается светособирающий купол (1), который осуществляет оптимальный забор света, снижая число отражений и

формируя вектор перемещения света по световоду за счет насечек во внутренней поверхности (линза Френеля). Произведен из ударопрочного состава благодаря чему имеет большой срок эксплуатации;

- Далее под светособирающим куполом размещен бордюрный флешинг (2). Он служит для крепления ПТС и обеспечивает прилегание СО к поверхности здания. Так же за счет плотного прилегания достигается изолирование от воды, влаги. Крепится напрямую на здание через шов. Таким образом флешинг представляет собой соединяющее устройство, изготовленный из металла в цельном исполнении, на поверхность которого нанесен защитный слой;

- Для фиксации световода устанавливается кольцо фиксации (3);
- Предыдущие составные части находятся над удлинителем световода (4), элементом, который уходит в глубь здания и служит для переноса света по всей длине световода. Это возможно за счет того, что внутренняя поверхность имеет высокий коэффициент отражения (99,7%), который достигается тонкой пленкой из полимера, имеющей несколько слоев, удлинение световода осуществляется за счет соединения труб из алюминия;

- В самой нижней части размещается рассеиватель (5), который служит для равномерного рассеивания света в помещении;

Благодаря такой конструкции ПТС, существенно превосходит традиционные системы ввода естественного света в помещение, так как ПТС достигает наиболее равномерное распределение света в помещении, нежели привычные варианты, которые не могут решить проблему переноса света с несолнечной стороны и освещения естественным светом помещения больших площадей. Также с расстоянием естественная освещенность от окон уменьшается экспоненциально (рисунок 9).

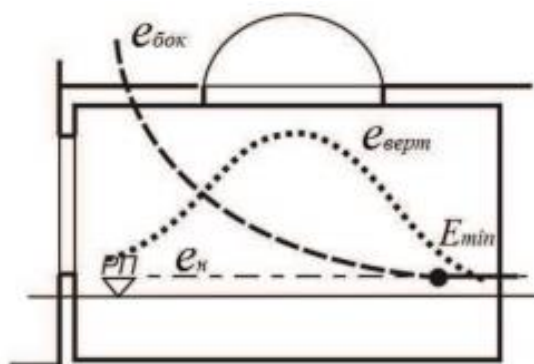


Рисунок 9 – Относительное распределение естественной освещённости в помещении оконным и световодным освещением [5].

### 1.3.4. Сильные и слабые стороны ПТС

Полые световоды, как и любая технология и техника, имеют свои преимущества и недостатки над остальными осветительными устройствами, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные преимущества и недостатки ПТС [15]

Преимущества	Недостатки
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Лучшее качество освещения среди всех ОУ и соблюдение всех самых жестких требований по СанПин «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».</li> <li>2. Отсутствие потребления ЭЭ в дневное время.</li> <li>3. Незначительные теплопритоки в летние и теплопотери в зимние периоды в сравнении с традиционными светопроемами.</li> <li>4. Возможность обеспечения естественным светом внутренних пространств помещений, не имеющих прямой визуальной связи с окружающей средой;</li> <li>5. Возможность постоянного «слежения» за положением солнца на небосводе;</li> <li>6. Простая конструкция;</li> <li>7. Минимальные нагрузки на здание за счет малого веса световодов;</li> <li>8. Опция регулирования мощности освещения.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие производителей комплектующих и запасных частей в России;</li> <li>2. Необходимость усложнения планировочной структуры помещения;</li> <li>3. Сложности при монтаже;</li> <li>4. Неработоспособность в темное время суток.</li> </ol>

Основной недостаток в виде неработоспособности в темное или бессолнечное время и стал причиной появления гибридного осветительного комплекса.

#### **1.4. Гибридный осветительный комплекс (ГОК)**

Гибридный осветительный комплекс, сохраняя все достоинства ПТС, стал прорывным инженерно-техническим решением в реализации дарового ресурса естественного света. Симбиоз ПТС и энергоэффективных светодиодов с системой автоматического управления (САУ) и формирует ССО на базе ГОК, создающую стабильную световую среду за счет устранения переменности естественного света [17]. Согласно ГОСТ [16]: «ГОК-устройство, предназначенное для совмещенного освещения, объединяющее в себе два вида источников света (естественного и искусственного), интегрированных в единую конструкцию, и систему автоматического управления, имеющее общую техническую документацию, обеспечивающее технологию совмещенного освещения и выполняющее свои функции у потребителя только в собранном виде».

Эффективность совмещенного освещения помещений можно оценить на примере школы в St. Gallen (Швейцария). С помощью осветительной установки Heliobus школе удалось уменьшить энергопотребление в 3,5-5 раз и установленную мощность в два раза. Данная установка была спроектирована в России и внедрена компаниями Signer и Buhler/Scherler [18].

На рисунке 10 приведена диаграмма, иллюстрирующая эффект энергосбережения в случае применения ГС в ССО.

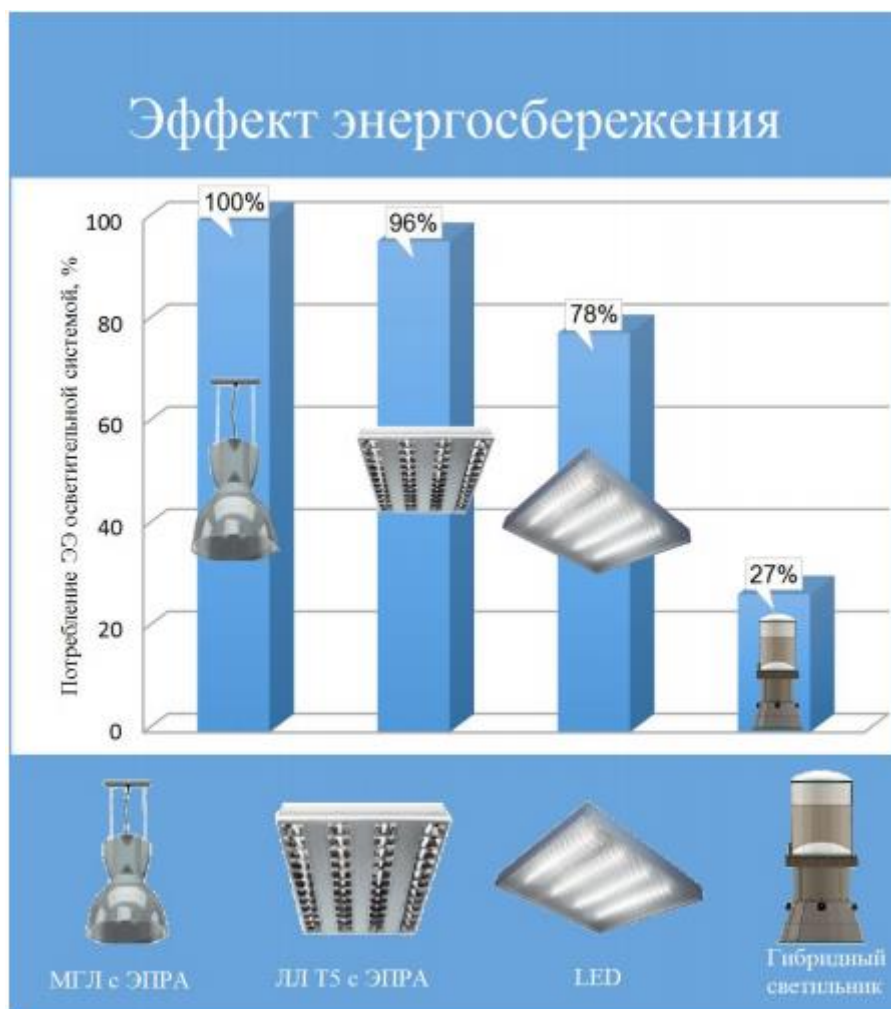


Рисунок 10 – Эффект энергосбережения при использовании ГС [13]

Рассмотрим систему «Solatube LED-S» созданную с переходом световода от малого диаметра к большему, это осуществляется за счет разделения на две составляющие, верхнюю и нижнюю, верхняя- малого, нижняя часть- большего диаметра. Именно на нижнюю крепится источник искусственного света - светодиодный блок искусственного света (СБИС). Важной частью считается нижняя ступень, так как именно она содержит изменения, относительно верхней сохранившей устройство ПТС.

#### 1.4.1. Монтаж и конструкция ГОК

Разберем ГОК на составляющие элементы и представим это на рисунке 11, примером будет служить «Solar LED-S» изготовленный из ПТС «Solatube M74».



Рисунок 11 – ГОК «Solar LED-S» (на базе ПТС «Solatube® M74»):

- 1– коллектор «Solatube® M74» серии «SkyVault»; 2 – внешний купол;  
 3 – внутренний защитный купол; 4 – элемент защиты от проникновения;  
 5 – бордюрный флешинг; 6 – кольцо фиксации световода; 7 – световод  
 верхней ступени оптического каскада; 8 – СБИС; 9 – световод нижней  
 ступени оптического каскада; 10 – кольцо фиксации рассеивателя; 11 –  
 призматический рассеиватель

Подробнее о СБИС в установке: светодиодные блоки СДМ, система охлаждения и управление для СДМ, закрепленные на панели. Сам СБИС располагают непосредственно в бордюре крыши. Бордюрный флешинг обеспечивает защиту внутренних компонентов ГОК от внешних воздействий. Бордюр устроен так, что с любой из 4 сторон можно обеспечить ремонт или осмотр СБИС, за счет доступа с помощью мини-люков в нем, обустроенных закрывающимися элементами. СБИС имеет систему управления, ее

обслуживание не использует особых приборов и инструментов, она достаточно проста в обеспечении сервисных работ. Работники, обеспечивающие ремонт или осмотр, располагается снаружи здания на самой кровле, на этой плоскости и находятся мини-люки.

САУ разделена на несколько групп, в каждой группе может располагаться от 2 до 4 ГОК, разделяя на участки поверхность освещения. Каждая группа оснащена групповым управлением с датчиком освещенности, управляемыми блоками питания и контроллером. Ниже будет приведен рисунок с указанием элементов конструкции.

Регулировка системы автоматического управления (САУ) осуществляется при помощи радиосвязи (дистанционно), при завершении процесса установки. Когда осуществляется включение осветительной установки, САУ принимает равновесное состояние, и в помещении устанавливается неизменный нормированный уровень освещения.

### **1.5. Светодиоды**

Наиболее «молодыми» источниками света, принципиально отличающимися от разрядных или тепловых ламп, являются полупроводниковые светодиоды, которые продуцируют оптическое излучение во время протекания электрического тока через них [1].

В основе работы LED светодиодов лежит так называемый p-n- переход (p- positive, дырочный тип, n- negative, электронный тип). При подаче напряжения нужной полярности на светодиод отрицательно заряженные электроны, соединяясь с положительно заряженными ионами, выделяют энергию в виде излучения света.

До недавнего времени светодиодам находилось применение только в качестве световых индикаторов, сигнализации, декоративных установок типа «звездное небо» и т.д. Но прогресс светoeлектроники не стоит на месте, и сегодня эти полупроводниковые приборы, излучающие свет во всем видимом диапазоне спектра, массово внедряются во все области светотехники. Это



происходит благодаря энерго- экологическим и техническим характеристикам светодиодов:

- срок службы около 100 тыс.ч.;
- минимальное энергопотребление (для работы диода необходимо 10% энергии требуемой для обычной лампы накаливания);
- значение светотдачи  $>120$  лм/Вт (физический предел- 280 лм/Вт);
- вибростойкость (нити лампы накаливания и колбы люминесцентных ламп очень хрупкие);
- отсутствие в составе вредных веществ, таких как ртуть и свинец;
- не требуют специальной утилизации, утилизируются как обычный твердый пластик;
- широкий диапазон цветовой температуры- от 2800К до 6000К;
- начинают излучать мгновенно после подачи питания.

Сам по себе светодиод не может излучать белый свет, только свет строго фиксированной длины волны. Получение светодиодов белого свечения и технология их реализации очень сложный процесс, тогда как принцип устройства самого белого диода очень прост. Существует три основных технических решения для получения белого свечения светодиода:

1. Нанесение на синие СД слоя желтого фосфора;
2. Объединения красного, синего и зеленого цветов (RGB система);
3. Нанесение множества слоев люминофора на кристаллы, излучающие ультрафиолет.

В первом случае на светодиод синего свечения наносится люминофор, желтый фосфор, который поглощая часть синего света излучает желтый свет, и этот желтый свет при смешении с оставшейся частью синего света превращается в близкий к белому свет. Данный метод позволяет изготавливать самые дешевые диоды. Слабая сторона технологии- холодный оттенок светодиодов, низкий уровень цветопередачи.

Второй метод является более классическим, так как белый свет является суммой всех цветов, его получают за счет RGB системы. Для получения более качественного белого света используются желтые светодиоды, позволяя получать различные тона и оттенки белого света и высокий индекс цветопередачи. Недостатком данного метода является то, что светодиоды отдельных цветов реагируют на рабочий ток и температуру окружающей среды по-разному. Это заставляет использовать в RGB-светодиодах сложную и дорогую систему управления.

Последний же метод является самым новым и достигается за счет комбинации диода, излучающего свет, близкий к ультрафиолету, и определенного количества слоев люминофора. При данной схеме исполнения диоды способны излучать более теплый белый свет и сохранять однородность оттенка от диода к диоду, но потребляют они больше ЭЭ и менее ярки, чем при первом варианте исполнения.

Лампам и светильникам на базе СД необходимо обеспечивать нужный для определенного использования световой поток. По этой причине, обычно такие лампы и светильники включают несколько СД и нужно требуемое угловое распределение света. В этих целях применяется вторичная линзовая оптика (ЛО). На 12 рисунке приведены приборы из множества СД с разнообразной ЛО.



Рисунок 12 – Светильники со светодиодами с различной ЛО

### **1.5.1. Неясность отношения Российской Федерации к СД**

Самая актуальная и обсуждаемая тема- неопределенность мер государственной политики для перемен технологической основы в ИО. Возникают споры об оптимальной последовательности перехода к новым технологиям. Нет упоминания об этом в актах технического регулирования и

санитарных норм. Модернизация образовательных учреждений заняла возглавляющую позицию в приоритетах. Главным камнем преткновения является введение и утверждение некоторых законов и поправок, которые действуя друг на друга вызывают противоречия. В 2011 году Федеральным законом запрещено приобретение ламп накаливания. 1 июля 2016 года, Правительством РФ утверждены первоочередные требования ЭЭ, там говорится о применении для внутреннего освещения государственных и муниципальных учреждений, только светодиодных источников, кроме случаев, когда это запрещается санитарно-гигиеническими нормами и правилами. Дословно излагается: «Для общего освещения учреждений дошкольного, школьного и профессионально-технического образования, а также в основных функциональных помещениях лечебное - профилактических учреждений следует применять люминесцентные (включая компактные) лампы и лампы накаливания, галогенные, светодиодные. Применение источников света в указанных помещениях допускается в соответствии с действующими санитарно-гигиеническими нормами и правилами, устанавливающими требования к искусственному освещению». В этом году Министерство строительства РФ утвердил свод правил, в которых имеются обязательные ограничения СД источников света в школах, в пользу линейных ртутных, люминесцентных ламп и ламп накаливания, не беря в учет, что приобретение этих ламп запрещено законом, принятым в 2011 и эти лампы, являются низкоэффективными и не экологичными.

Эти неясности сохраняются и по сей день, но техника и технологии производства светодиодов не стоят на месте, технические и эксплуатационные характеристики современных светодиодов в несколько раз лучше люминесцентных ламп, и спектр излучения светодиодов приблизился к эталонному спектру ламп накаливания. Но на рынке также существуют дешевые светодиоды, спектр излучения которых по-прежнему неравномерный, имеют синий пик и провал в голубом спектре. Такие светодиоды запрещены для освещения детских садов из-за «синей

опасности». В ГОК используются качественные светодиоды с равномерным спектром излучения близким к солнечному свету. На рисунке 13 изображены спектры современных и старых светодиодов.

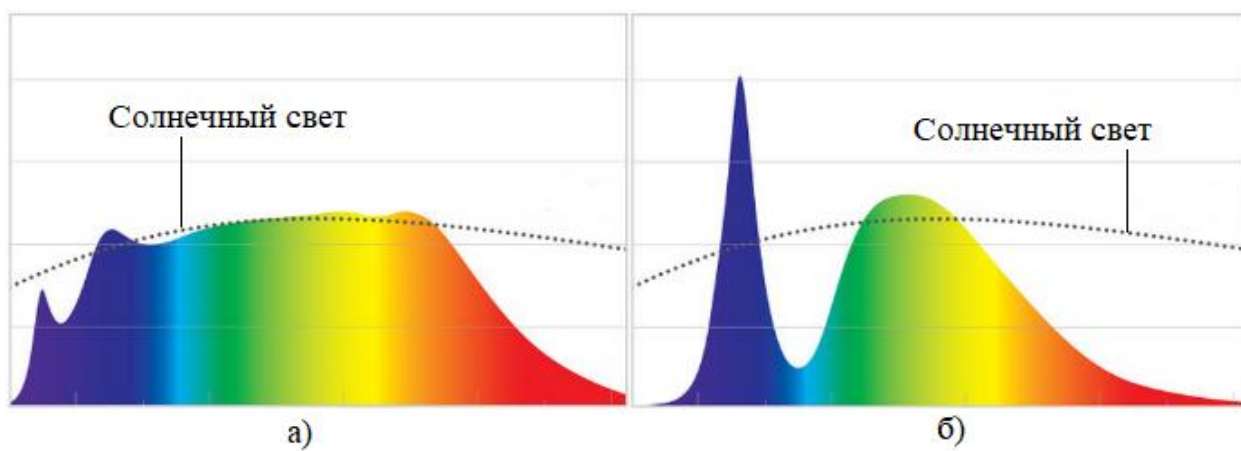


Рисунок 13 – Спектры излучения светодиодов: а – новые светодиоды;  
б – старые или некачественные светодиоды;

## Глава 2. Разработка системы освещения детского дошкольного учреждения

### 2.1. Исходные данные

Требуется реконструкция системы освещения основных помещений 3 этажа детского сада в г. Тюмень на более энергоэффективную. Фрагменты плана расстановки базового осветительного оборудования 3 этажа изображены на рисунках 14 и 15. План детского сада разделен на 2 части. По базовому плану система освещения детского сада построена на люминесцентных ОУ. Спецификация ОУ представлена в таблице 2.

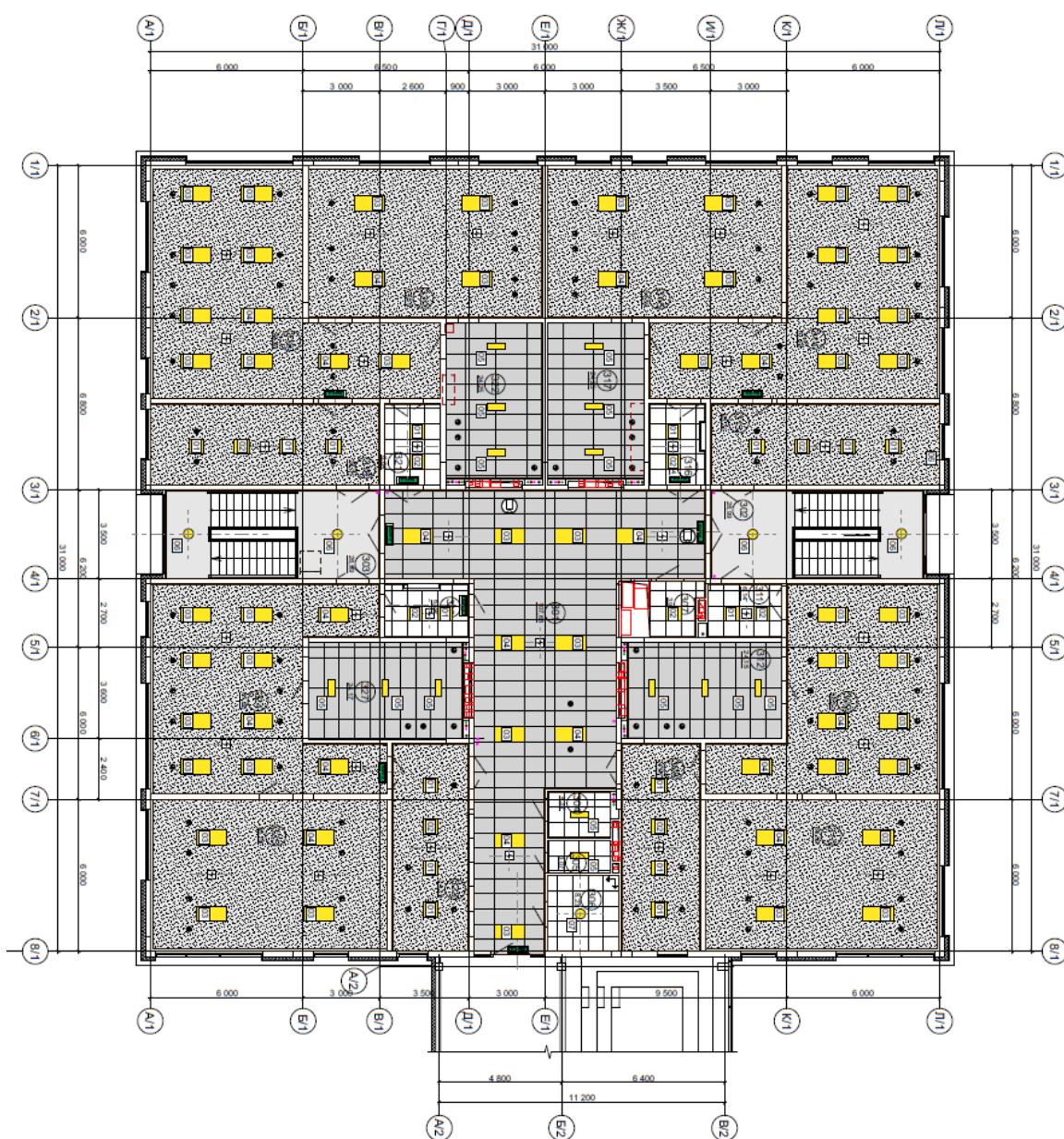


Рисунок 14 – План расстановки ОУ 1 части 3 этажа детского сада



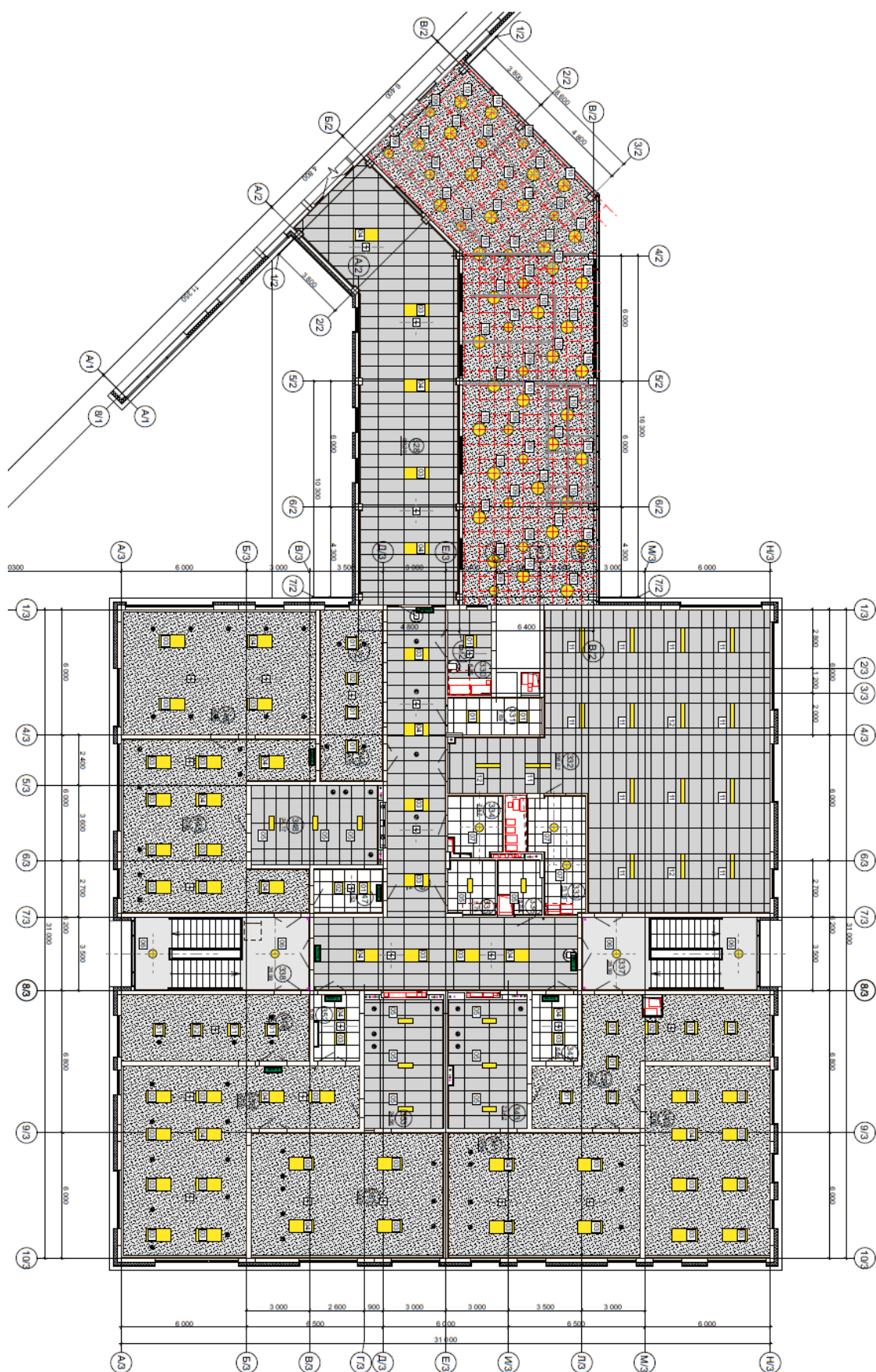









Рисунок 15 – План расстановки ОУ 2 части 3 этажа детского сада

Таблица 2 – Спецификация ОУ 3 этажа

№	Наименование	Кол-во	Усл. обозначение
1	светильник с люминесцентными лампами, встраиваемый, Р=4х18, Вт, IP20, 595 мм х 595 мм	45	
2	светильник с люминесцентными лампами, встраиваемый, Р=4х36, Вт, IP20, 1195 мм х 595 мм	122	
3	светильник с люминесцентными лампами, встраиваемый, Р=2х18, Вт, IP54, 680 мм х 240 мм	25	
4	светильник с люминесцентными лампами, накладной, Р=2х18, Вт, IP65, d=390 мм	9	
5	светильник с бумажным абажуром d=450мм	17	
6	светильник с бумажным абажуром d=600мм	36	
7	светильник с люминесцентными лампами, накладной, Р=2х36 Вт, IP65, с защитной решеткой	16	

## 2.2. Моделирование помещения и системы освещения

Обеспечение качественным и рациональным освещением детских садов является важной задачей, поскольку в них длительное время находятся дети с еще не окрепшим организмом, занимающиеся определённой зрительной работой при рисовании, лепке, вышивании, во время учебных занятий и т.д.

Помимо привычных функциональных задач, освещение дошкольных учреждений должно дополнять архитектурно-художественную выразительность интерьера и способствовать эстетическому и практическому воспитанию детей.

В первую очередь для проектирования системы освещения нужно смоделировать помещение. Для этого была использована программа DIALux, и в ней было создано помещение со всеми соответствующими параметрами.

Для удобства проектирования системы освещения здание садика было поделено на две части.

Принимаем значение высоты потолков равным 3,2 м. Во всех основных помещениях, кроме комнаты гимнастических занятий, предусмотрены подшивные потолки из ГВЛ по металлическому каркасу, окрашенные в цвет RAL 9003 (сигнально-белый) с коэффициентом отражения 0,85. В комнате гимнастических занятий установлены подвесные потолки. Рекомендованные коэффициенты отражения для потолков садика равен 0,7, стен- 0,5, пола- 0,3 [16].

Освещение основных помещений по исходному плану реализуется на ОУ с ЛЛ. Для создания ССО все люминесцентные светильники были заменены на ГОК SolarWay на базе ПТС Solatube 290 DS и Solatube 330 DS. Реконструкция системы освещения с использованием ГОК коснется только третьего этажа здания садика, так как для оснащения ГС нижних этажей требуются специальные шахты под трубы световодов, которые не были предусмотрены при проектировании здания. Повышение технико-экономических показателей освещения первого и второго этажа будет реализовываться с применением светодиодных светильников.

Приблизительный расчет осветительных установок производится методом коэффициента использования. Требуемый световой поток ламп в каждом светильнике находится по формуле:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{ср}} \cdot K_3 \cdot S}{N \cdot U_{\text{оу}}}, \quad (2.1)$$

где:  $E_{\text{ср}}$  - среднее значение освещенности, (лк);

$S$  - площадь освещаемого помещения, ( $\text{м}^2$ );

- коэффициент использования светового потока;

$K_3$  - коэффициент запаса, учитывающий учитывающий загрязнение светильника (источник света, светотехнической арматуры, стен и пр.).

- количество светильников в освещаемом помещении, шт.



Коэффициент использования  $U_{oy}$  определяется как отношение светового потока, падающего на расчетную плоскость, к световому потоку источника света, и зависит от размещения светильников в помещении, от размеров помещения и коэффициентов отражения его поверхностей ( $\rho_n$  - коэффициент отражения потолков,  $\rho_c$  - стен,  $\rho_{пола}$  - пола).

Соотношение размеров освещаемого помещения и монтажная высота светильников характеризуется индексом помещения:

$$i_n = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A+B)}, \quad (2.2)$$

где:  $A$  - длина помещения, (м);

$B$  - ширина помещения, (м);

$h_p$  - расчетная высота подвеса светильников над расчетной поверхностью, (м).

Выразив из формулы (2.1) количество светильников, получаем:

$$N = \frac{E_{cp} \cdot K_z \cdot S}{\Phi_l \cdot U_{oy}}. \quad (2.3)$$

Произведем расчет для нахождения требуемого количества ГОК Solatube NL 290 DS, которые обеспечат нормируемую среднюю освещенность  $E_{cp} = 150$  (лк) спальни по СНиП 23-05-95:

$$i_n = \frac{5,85 \cdot 9,35}{3,2 \cdot (5,85 + 9,35)} = 1,12,$$

$h_p = 3,2$ , так как расчетной поверхностью является пол.

Для нахождения коэффициент использования светильников при  $\rho_n = 0,7$ ;  $\rho_c = 0,5$ ;  $\rho_{пола} = 0,3$  по таблице [16] нужно определить тип кривой силы света (КСС) ГОК Solatube NL 290 DS. На рисунке 16 представлены типы КСС и КСС ГОК Solatube NL 290 DS.

Сравнив КСС ГС с общей классификацией можно сделать вывод о том, что ГОК Solatube NL 290 DS имеет косинусную кривую (Д).

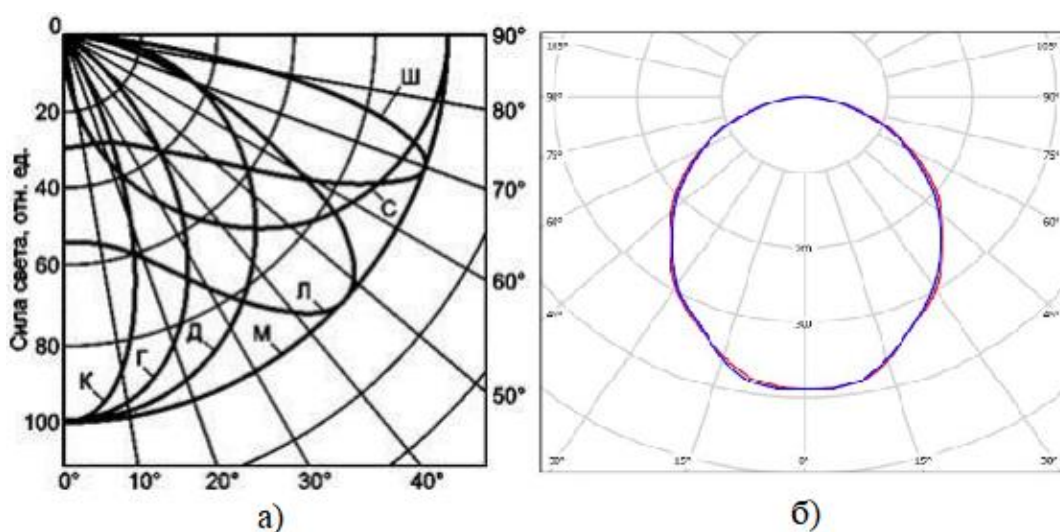


Рисунок 16 – Кривые силы света: а – классификация КСС [17]; б – КСС ГОК Solatube NL 290 DS

В таблице 3 представлены коэффициенты использования светильников с типовыми КСС. С помощью линейной интерполяции найдено значение  $U_{oy} = 0,55$  при  $i_n = 1,12$ .

Таблица 3 – Коэффициент использования светильников [16]

Тип КСС	Значение $U_{oy}$	
	при $\rho_n = 0,7; \rho_c = 0,5; \rho_{пола} = 0,3$ и $i_n$ равном	
	0,8	1,25
Д	50	58

По формуле (2.3) находим необходимое количество светильников:

$$N = \frac{150 \cdot 1,585 \cdot 9,35}{3000 \cdot 0,55} = 5,1$$

где:  $K_3 = 1$ ;

$\Phi_l = 3000$  (лк) для Solatube NL 290 DS и  $\Phi_l = 7744$  (лк) для Solatube NL 330 DS.

Округлив количество светильников в большую сторону, расставляем светильники по спальне и осуществляем расчет освещенности программным методом (с использованием DIALux). Уровень освещенности в комнате продемонстрирован на рисунке 17 изолиниями освещенности (изолюксами) – линиями равной освещенности.

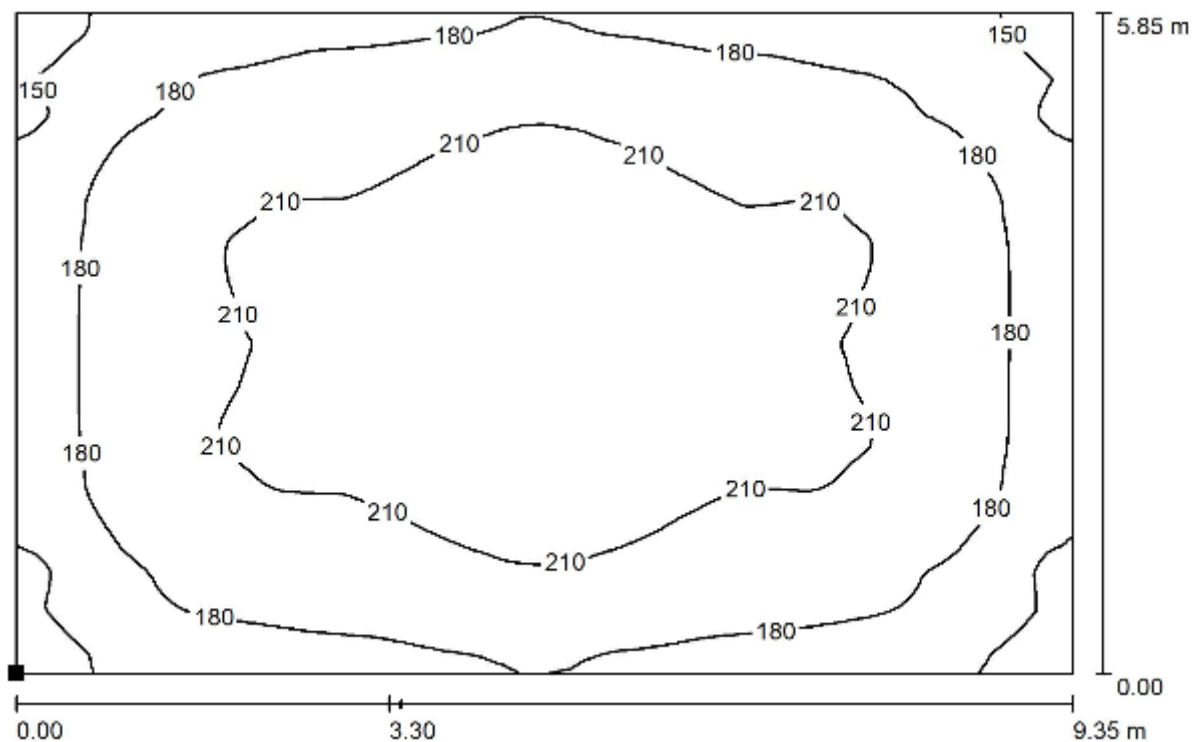


Рисунок 17 – Изолинии освещенности спальни

Расчет освещения многоугольных комнат (спортзал, игральная и т.д.) производится с использованием упрощенного индекса помещения, который подбирается по таблицам [16]. В таблице 4 представлены результаты расчетов для всех остальных основных помещений учреждения.

Таблица 4 – Результаты расчетов освещенности основных помещений

Наименование	$A$ , м	$B$ , м	$h_p$ , м	$\Phi_l$ , Лм	$i_n$	$U_{oy}$	$N$ , шт	$E_{cp}$ , лк	$E_{cp.расчет}$ , лк
Групповая №1	9,35	7,95	3,2	7744	1,3	0,6	6,4	400	501
Спальня №1	6	9,4	3,2	3000	1,1	0,55	5,1	150	191
Спальня №2	6	9,4	3,2	3000	1,1	0,55	5,1	150	192
Комната гимнастических занятий	9,35	7,95	3,2	7744	1,3	0,6	6,4	400	496
Игровая №1	8,6	6,75	3,2	7744	1,2	0,57	5,3	400	525
Спальня №3	5,95	9,15	3,2	3000	1,1	0,55	5,2	150	197
Спальня №4	5,95	9,15	3,2	3000	1,1	0,55	5,2	150	198
Групповая №2	8,6	7,67	3,2	7744	1,3	0,6	5,7	400	527
Спальня №8	5,95	9	3,2	3000	1,1	0,55	5,1	150	199
Музыкальная	8,6	7,6	3,2	7744	1,3	0,6	7,5	500	525
Спортивный зал	14,65	11,1	3,2	6881	2	0,72	10,1	300	341
Спальня №7	9,35	5,85	3,2	3000	1,1	0,55	5,05	150	195
Спальня №5	5,95	9,55	3,2	3000	1,1	0,55	5,2	150	190
Спальня №6	5,95	9,55	3,2	3000	1,1	0,55	5,2	150	191
Игровая №2	9,35	8	3,2	7744	1,3	0,6	6,4	400	484

Исходя из полученных расчетным путем количества светильников на комнату, расставляем их по основным помещениям (рисунок 18,19).

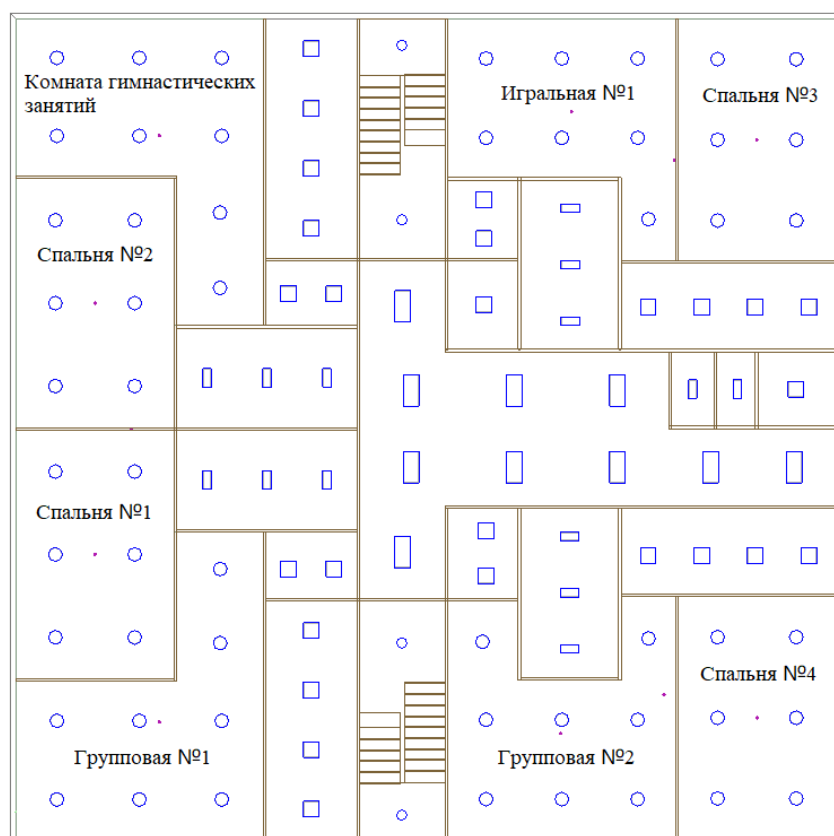


Рисунок 18 – План размещения светильников в первой части здания

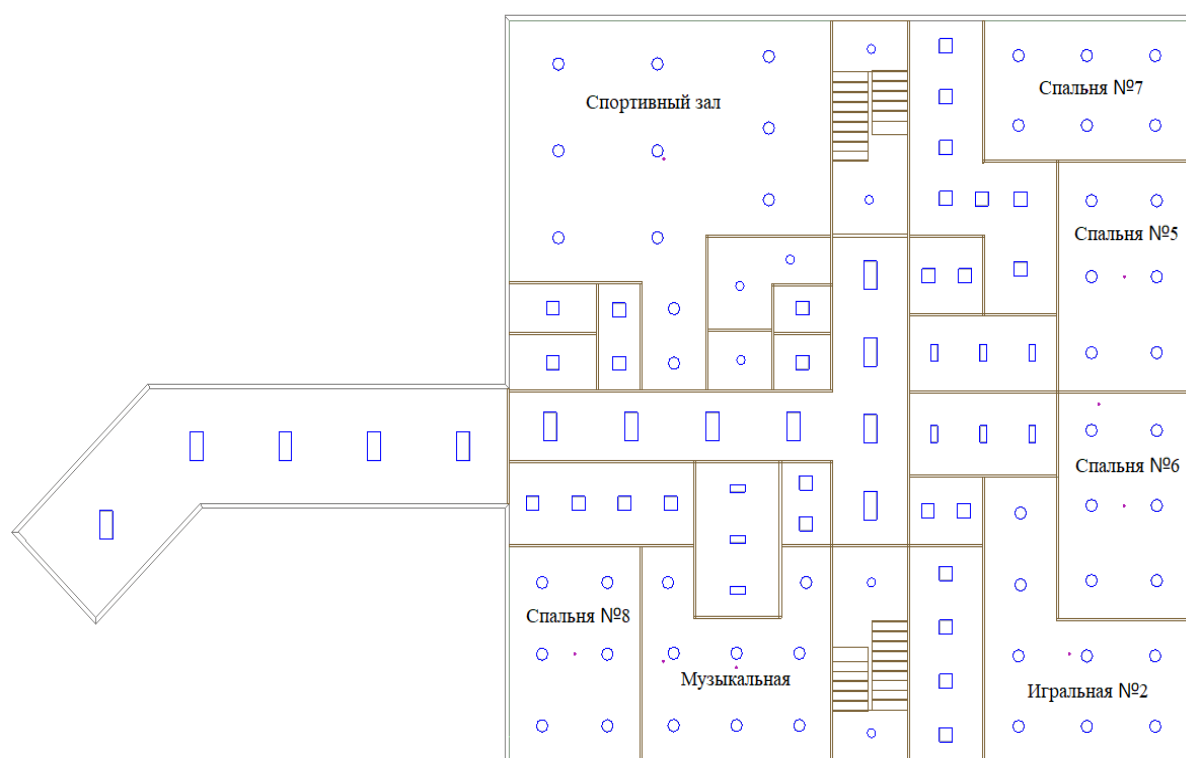


Рисунок 19 – План размещения светильников во второй части здания

На рисунках 20 и 21 изображены 3D модели освещения.

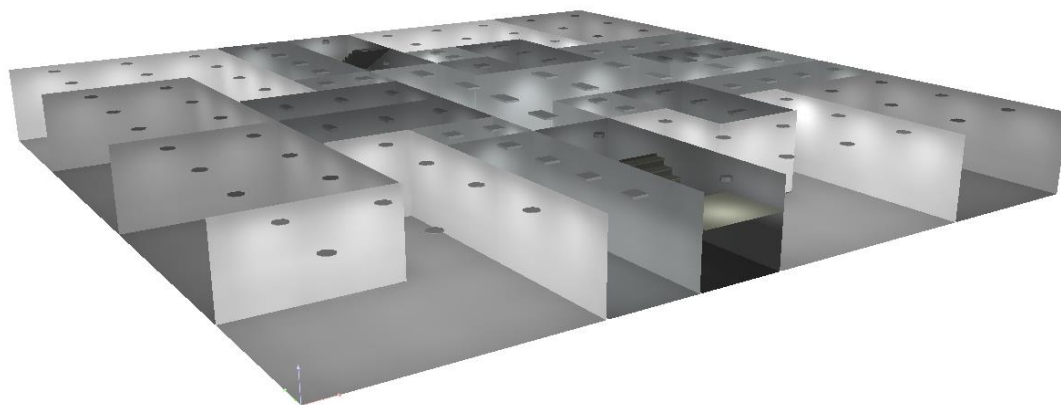


Рисунок 20 – 3D визуализация первой части здания

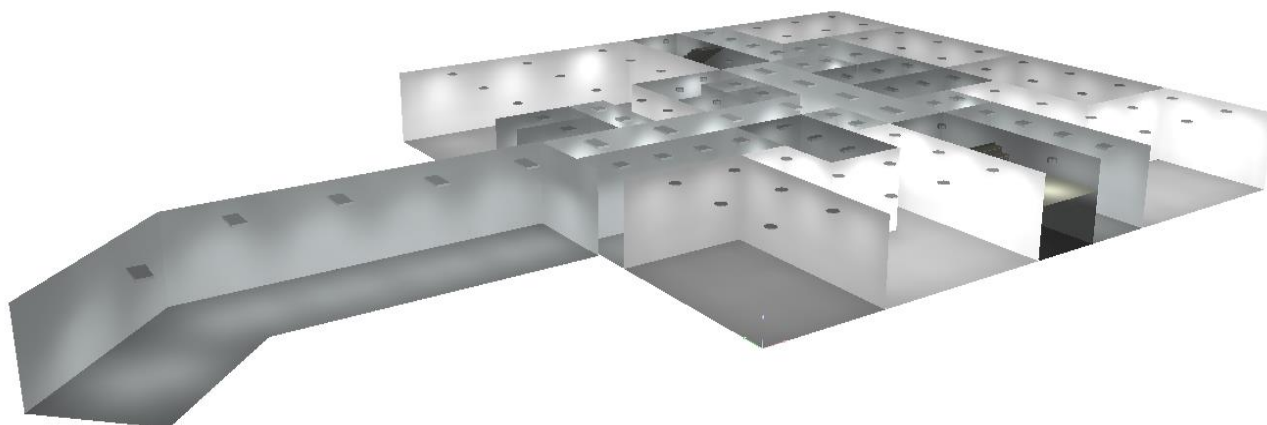


Рисунок 21 – 3D визуализация второй части здания

На рисунках 22 и 23 продемонстрированы изолинии основных помещений.

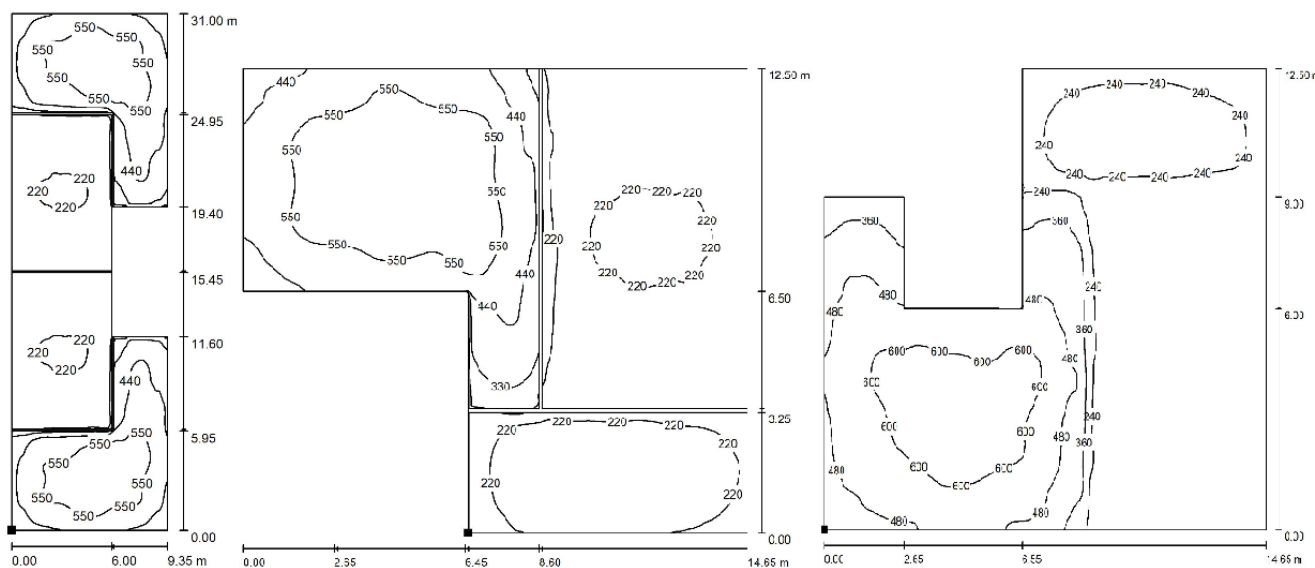


Рисунок 22 – Изолинии основных помещений первой части здания

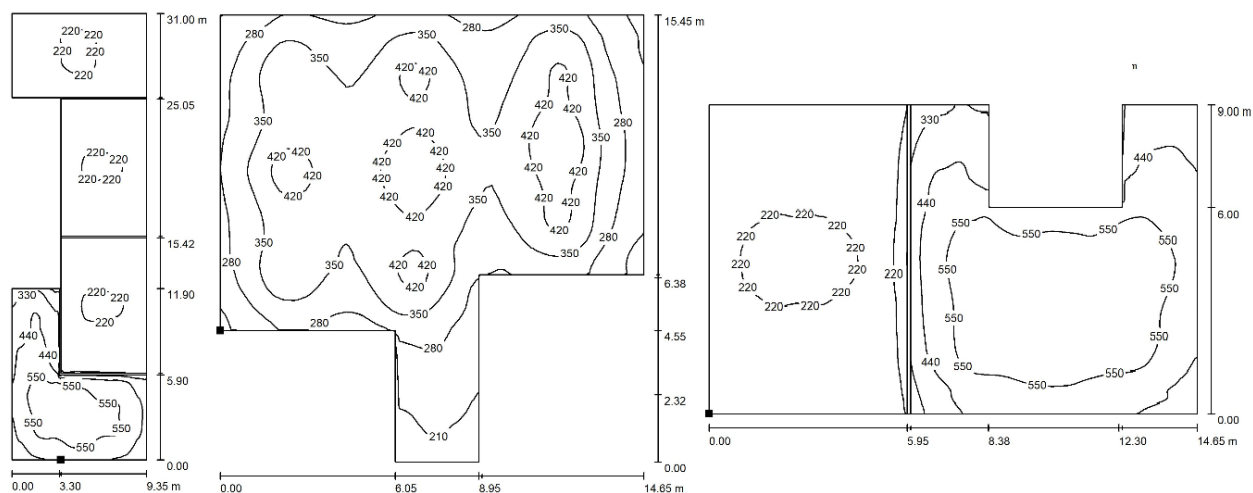


Рисунок 23 – Изолинии основных помещений второй части здания

Для освещения нижних этажей были использованы светодиодные светильники марки ДВО – 34w LED с рассеивателем KROKUS в количестве 158 штук.

### 2.3. Выводы по разделу

Созданная новая модель системы освещения опережает базовую систему освещения по всем свето- техническим и тепло- техническим характеристикам. Были получены нормативные освещенности в основных помещениях, при лучших технико – экономических показателях. Реализована более благоприятная, с точки зрения освещения, среда для здоровья детей.

## **Глава 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **3.1. Описание проекта**

Проблема энергосбережения в осветительных установках всех стран мира, не только передовых, но и развивающихся, приобрела за последние годы исключительное значение [1]. При этом от успехов в решении этой проблемы во многом зависит будущее человеческой цивилизации не только в связи с постепенным истощением горючих ископаемых, идущих на выработку электроэнергии, но и из-за быстро происходящего загрязнения окружающей среды выбросами в атмосферу вредных веществ (диоксидов углерода и серы, а также ртути), образуемых в результате сжигания топлива при производстве электроэнергии. Известно, что при выработке на тепловых электростанциях (работающих на угле) 1 кВт\*ч электроэнергии (ЭЭ) в атмосферу выбрасывается около 1 кг CO<sub>2</sub>. Проблема в значительной мере связана также с непрерывно происходящим увеличением масштабов осветительных установок (ОУ) и потреблением в них ЭЭ. В этой связи во многих государствах мира приняты и реализуются специальные программы энергосбережения, включающие самостоятельные разделы применительно к ОУ [7].

Необходимо отметить, что наиболее эффективные ОУ должны производить высококачественный свет только в таком количестве и в то время, сколько, где и когда это требуется, и сохранять свои характеристики на протяжении длительной работы при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах, в том числе при минимальном энергопотреблении. Следовательно, очевидна необходимость при решении проблемы энергосбережения рассмотреть технические характеристики, эффективность применения, масштабы использования и структуру производства различных энергоэффективных ОУ.

Система совмещенного освещения на базе полых трубчатых световодов в комбинации со светодиодным блоком искусственного света



является отличным решением проблемы энергосбережения. Данная установка называется гибридным осветительным комплексом (ГОК) и на ней будет основана реконструкция детского сада в городе Тюмени. Для достижения лучших технико-экономических показателей в новой системе освещения предусмотрена замена люминесцентных светильников на светодиодные из-за невозможности установки ГОК на нижние этажи, в виду отсутствия специальных проемов для труб полых световодов. В итоге по плану реконструкции предусматривается освещение третьего этажа гибридными светильниками, а первого и второго- светодиодными.

### 3.2. Сравнение стоимости систем освещения

В исходной модели детского учреждения для освещения основных помещений всех этажей используются 263 светильников ARS/R 436/595, 40 светильников AL 236 HF ES1 и 61 светильников ALS.OPL 418 HF. Для реконструкции системы освещения детского сада требуются 50 ГОК Solatube NL 290 DS и 56 ГОК Solatube NL 330 DS, а также светодиодные светильники. Освещения нижних этажей будет осуществляться светодиодными светильниками марки мощностью марки ДВО – 34w LED с рассеивателем KROKUS в количестве 158 штук.

Рассчитаем капитальные затраты на ГОК:

$$K_{SolatubeNL290DS} = 51400 \text{ руб};$$

$$K_{SolatubeNL330DS} = 64250 \text{ руб};$$

$$K_{ГОК} = K_{NL290DS} \cdot N_{NL290DS} + K_{NL330DS} \cdot N_{NL330DS} = 51400 \cdot 50 + 64250 \cdot 56 = 6168000 \text{ руб};$$

$$K_{ДВО34} = 1906 \text{ руб};$$

$$K_{светодиод.} = K_{ДВО34} \cdot N_{ДВО34} = 1906 \cdot 158 = 301148 \text{ руб};$$

$$K_{реконстр.} = K_{ГОК} + K_{светодиод.} = 6168000 + 301148 = 6469148 \text{ руб}.$$

Рассчитаем капитальные затраты на исходную систему освещения основных помещений:

$$K_{ARS / R436 / 595} = 9752 \text{ руб};$$

$$K_{AL236HF} = 8557 \text{ руб};$$

$$K_{ALS.OPL418} = 8431 \text{ руб};$$

$$K_{\text{исходн.ЛЛ}} = K_{ARS / R436} \cdot N_{ARS / R436} + K_{AL236HF} \cdot N_{AL236HF} + K_{ALS.OPL418} \cdot N_{ALS.OPL418} = 9752 \cdot 263 + 8557 \cdot 40 + 8431 \cdot 61 = 3421347 \text{ руб}.$$

Все цены на светильники указаны на официальных сайтах производителей. Суммарные стоимости осветительных систем с учетом затрат на их установку, монтаж и настройку:

$$K_{\text{сумм.рекон.}} = 6469148 \cdot 1,1 = 7180754 \text{ руб};$$

$$K_{\text{сумм.исходн.}} = 3421347 \cdot 1,1 = 3763482 \text{ руб}.$$

### 3.3. Расчет годовых эксплуатационных издержек по содержанию систем освещения

Ежегодные амортизационные отчисления составят:

$$I_{\text{ам.рекон.}} = 7180754 \cdot 0,018 = 129254 \text{ руб} / \text{год};$$

$$I_{\text{ам.исходн.}} = 3763482 \cdot 0,028 = 105377 \text{ руб} / \text{год}.$$

Годовые расходы на обслуживание и текущий ремонт установок:

$$I_{\text{обс.рекон.}} = 7180754 \cdot 0,005 = 35904 \text{ руб} / \text{год};$$

$$I_{\text{обс.исходн.}} = 3763482 \cdot 0,023 = 86560 \text{ руб} / \text{год}.$$

Эксплуатационные затраты составят:

$$I_{\text{рекон.}} = I_{\text{ам.рекон.}} + I_{\text{обс.рекон.}} = 129254 + 35904 = 165158 \text{ руб} / \text{год};$$

$$I_{\text{исходн.}} = I_{\text{ам.исходн.}} + I_{\text{обс.исходн.}} = 105377 + 86560 = 191937 \text{ руб} / \text{год}.$$

### 3.4. Расчет электропотребления и экономической эффективности систем освещения

Для расчета потребления ЭЭ искусственным светом требуется знать количество часов его работы. В среднем, детское дошкольное учреждение работает с 7:00 до 19:00. ГОК создает требуемую освещенность примерно с 9:00 до 18:00 естественным светом, не используя светодиодные

модули. Рассчитаем потребляемую за год энергию светильниками ARS/R 436/595 и AL 236 HF ES1 с 9:00 до 18:00, так как после этого промежутка времени светильники в основных помещениях обычно отключают:

$$W_{исходн.3} = n_{\partial} \cdot n_{ч} \cdot N_3 \cdot P_{свет} = 365 \cdot 9 \cdot (95 \cdot (4 \cdot 36) + 16 \cdot (2 \cdot 36)) = 48723 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где:  $n_{\partial}$  - количество дней в году;

$n_{ч}$  - количество часов использования светильника;

$N_3$  - количество светильников на третьем этаже;

$P_{свет}$  - удельная мощность светильника.

Рассчитаем количество ЭЭ, которую можно сэкономить при замене люминесцентных светильников на светодиодные во втором и первом этажах. Потребление ЭЭ светильниками исходного варианта (люминесцентные светильники, 2 вариант):

$$W_{исходн.1-2} = n_{\partial} \cdot n_{ч} \cdot N_{л} \cdot P_{л} = 365 \cdot 12 \cdot 180 \cdot 4 \cdot 36 = 113530 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Потребление ЭЭ светодиодными светильниками (1 вариант):

$$W_{рекон.1-2} = n_{\partial} \cdot n_{ч} \cdot N_{LED} \cdot P_{LED} = 365 \cdot 12 \cdot 34 \cdot 158 = 23529 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Суммарное годовое потребление ЭЭ светильниками исходного варианта:

$$W_{исходн.} = W_{исходн.1-2} + W_{исходн.3} = 113530 + 48723 = 162253 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Суммарное годовое потребление ЭЭ ГОК и светодиодными светильниками (1 вариант):

$$W_{рекон.} = W_{рекон.1-2} + W_{рекон.3} = 23529 + 0 = 23529 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

где:  $N_{л}$  - количество люминесцентных светильников;

$N_{LED}$  - количество светодиодных ламп.

Суммарная ежегодная экономическая выгода при реконструкции системы освещения в рублевом эквиваленте:

$$C_{эконом.} = (W_{исходн.} - W_{рекон.}) \cdot 2,87 = 138724 \cdot 2,87 = 398138 \text{ руб.},$$

где: 2,87- одноставочный тариф на ЭЭ в городе Тюмени.

Суммарные годовые эксплуатационные расходы с учетом потребления ЭЭ:

$$I_{\text{сумм. рекон.}} = I_{\text{рекон.}} + C_{\text{рекон.}} = 165168 + 69741 = 234909 \text{ руб} / \text{год};$$

$$I_{\text{сумм. исходн.}} = I_{\text{исходн.}} + C_{\text{исходн.}} = 191937 + 465666 = 657603 \text{ руб} / \text{год}.$$

Экономическую эффективность систем освещения оценивают приведенными затратами:

$$З = E_H \cdot K_{\text{сумм.}} + I_{\text{сумм.}},$$

где: З – приведенные затраты по рассматриваемому варианту, руб.;

$E_H = 0,15$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$K_{\text{сумм.}}$  – капитальные вложения на систему освещения, руб;

$I_{\text{сумм.}}$  – годовые эксплуатационные расходы на систему освещения, руб.

$$З_{\text{рекон.}} = E_H \cdot K_{\text{сумм. рекон.}} + I_{\text{сумм. рекон.}} = 0,15 \cdot 7180754 + 234909 = 1312022 \text{ руб} / \text{год};$$

$$З_{\text{исходн.}} = E_H \cdot K_{\text{сумм. исходн.}} + I_{\text{сумм. исходн.}} = 0,15 \cdot 3763482 + 657603 = 1222125 \text{ руб} / \text{год}.$$

Срок окупаемости проекта реконструкции:

$$\tau_{\text{окуп.}} = \frac{K_{\text{сумм. рекон.}} - K_{\text{сумм. исходн.}}}{I_{\text{сумм. исходн.}} - I_{\text{сумм. рекон.}}} = \frac{7180754 - 3763482}{657603 - 234909} = 8,08 \text{ лет}.$$

В таблице 5 представлены обобщенные технико- экономические данные модернизации системы освещения детского сада с помощью ГОК и светодиодных светильников.

Таблица 5 – Техничко- экономические данные модернизации системы освещения детского сада.

№	Параметр	Светильники с ЛЛ, исходный вариант	ГОК + светодиодные светильники, реконструированный вариант
1	Средний срок службы светильника	10 000 часов	10 лет/50 000 часов

Продолжение таблицы 5

2	Количество светильников, шт.	263- ARS/R 436/595 40- AL 236 HF ES1 61- ALS.OPL 418HF	50- Solatube NL 290 DS 56- Solatube NL 330 DS 158- ДВО34w LED
3	Стоимость светильника, руб	9752- ARS/R 436/595 8557- AL 236 HF ES1 8431- ALS.OPL 418HF	51 400- Solatube NL 290 64 250- Solatube NL 330 1906- ДВО34w LED
4	Суммарное годовое потребление ЭЭ, кВт*ч	162 253	23 529
5	Суммарное годовое потребление ЭЭ, руб	465 666	69 741
6	Капитальные затраты на осветительную систему, руб	3 763 482	7 180 754
7	Затраты на обслуживание и ремонт, руб/год	86 560	39 743
8	Амортизационные отчисления, руб/год	105 377	129 254
9	Приведенные затраты, руб/год	1 222 125	1 312 022

### 3.5. Выводы по разделу

Реконструкция системы освещения позволит ежегодно экономить на ЭЭ примерно 400 тысяч рублей, но срок окупаемости проекта составляет 8 лет. Созданная модель будет потреблять в 7 раз меньше ЭЭ в год. Долгий срок окупаемости объясняется отсутствием серийного производства в РФ гибридных осветительных комплексов (ГОК).